



**Universidad
Andrés Bello**

UNIVERSIDAD ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**METODOLOGÍA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA COBERTURA DE
RESPUESTA EN LA ATENCIÓN DE BOMBEROS EN CLAVE 0-11**

JORGE EDUARDO ANDRÉS LAZO VIAL

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL**

PROFESOR GUÍA: PAMELA ÁLVAREZ MARAMBIO

SANTIAGO – CHILE

Diciembre 2017

Dedicada a Dios, quien fue la base de mis logros.

“Porque tanto amó Dios al mundo que dio a su
Hijo unigénito, para que todo el que cree en él
no se pierda, sino que tenga vida eterna.”

Juan 3:16

AGRADECIMIENTOS

Primero, agradezco a Dios por su inmensa fidelidad durante mi periodo universitario, nada de esto hubiera sido posible sin él. A mi madre quien desde pequeño me enseñó cuán importante es soñar y que estos sueños se transformen en objetivos. Gracias por presentarme el mejor regalo que alguien puede recibir, Dios. Padre, sabes lo importante que te has vuelto durante este último tiempo para mí, gracias por darte el tiempo de volver a conocernos y recuperar el tiempo que ha pasado. Padres, gracias por el gran esfuerzo que hicieron día a día para que nuestros sueños se hagan realidad. Hermana, gracias por tus infinitas palabras de apoyo, por confiar incondicionalmente en mí y estar siempre dispuesta, más aún en las etapas más difíciles. Juan Carlos, gracias por tu inmensa preocupación y cariño desde el primer día.

Agradezco a mi profesora guía Pamela Álvarez, quien creyó desde el primer día en este tema, incluso sin conocer lo complicado y hermoso del mundo bomberil. Gracias por tomar gran parte de su tiempo en conocer de esta vocación que algunos nos apasiona.

Eduardo y Samantha gracias por su dedicación y entrega durante la última etapa de mi tesis.

Y a ti Micaella León, quien llegó en el momento preciso, revolucionó mi espacio y que luego de cuatro meses puedo decir que eres el amor de mi vida. Gracias por tu constante apoyo y aguantar mi mal genio durante el periodo de tesis. Gracias por ser tú, te amo.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	OBJETIVOS	3
II.1.	Objetivo General	3
II.2.	Objetivos específicos.....	3
III.	MARCO TEÓRICO.....	4
III.1.	Cuerpo de Bomberos de Santiago	4
III.2.	Recursos asociados al CBS	5
III.3.	Cuarteles Móviles.....	6
III.4.	Aplicación de Modelos de Localización en cuerpos de bomberos.....	7
III.4.1.	Problema de cobertura máxima.....	8
IV.	METODOLOGÍA	9
IV.1.	Puntos Críticos	11
V.	RESULTADOS	13
V.1.	Análisis de datos.....	13
V.2.	Implementación de la metodología y resultados	14
V.2.1.	Demanda comunas:	14
V.2.2.	Puntos factibles cuarteles móviles:	16
V.2.3.	Determinación de cobertura:	17
V.2.4.	Escenarios a correr	20
VI.	CONCLUSIONES	23
VII.	BIBLIOGRAFÍA.....	24
VIII.	Anexo 1: Recursos asociados al CBS.	25
IX.	Anexo 2: Cobertura de Cuarteles Móviles 4,6 km.....	27
X.	Anexo 3: Cobertura de Cuarteles Móviles 7 km.....	31

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Distribución de Cuarteles del Cuerpo de Bomberos de Santiago.	4
Ilustración 2: Distribución de Cuarteles de Bomberos de Zona Oriente.	5
Ilustración 3: Población por comunas de Zona Oriente de Santiago.	16
Ilustración 4: Cobertura de distritos de cuartel móvil Avenida Las Condes / Estoril, radio 4,6 km.....	18
Ilustración 5: Cobertura de distritos de cuartel móvil Avenida Las Condes / Estoril, radio 7 km.....	19

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Elaboración propia. Crecimiento de la población por comunas. 2017	12
Tabla 2: Elaboración propia. Resumen de Emergencias. 2015.....	13
Tabla 3: Elaboración propia. Población por distritos de comunas del sector oriente de Santiago. 2017	15
Tabla 4: Elaboración propia. Puntos factibles de cuarteles móviles. 2017	17
Tabla 5: Elaboración propia. Relación entre velocidad y tiempo de respuesta. 2017.....	18
Tabla 6: Elaboración propia. Demanda cubierta por cuarteles móviles 4,6 km. 2017.....	21
Tabla 7: Elaboración propia. Demanda cubierta por cuarteles móviles 7 km. 2017.....	22

I. INTRODUCCIÓN

La misión del Cuerpo de Bomberos de Santiago (CBS) es salvaguardar vidas y bienes de las diferentes comunas que están dentro de su jurisdicción, así como también del medio ambiente que nos rodea, con los valores de constancia y disciplina.

Actualmente, el CBS cuenta con 22 cuarteles distribuidos en 9 comunas de Santiago. Históricamente, las ubicaciones de éstos se hicieron de acuerdo con el crecimiento de la población y la urbanización de nuevos sectores. Es así como nacieron las últimas 3 compañías en la década de 1970, debido a las necesidades de los nuevos vecindarios. Las compañías formadas en esa oportunidad fueron la Vigésima Compañía, ubicada en el sector oriente de la capital, Vigésimo Primera y Vigésimo Segunda Compañía las cuales se encuentran en las comunas de Renca e Independencia respectivamente. Estas ubicaciones fueron fijadas según criterios y prioridades de esa época, y no han sido actualizadas considerando las características del crecimiento poblacional de los últimos años.

Para poder cumplir con su misión y con el fin de responder en el menor tiempo posible a una emergencia, el CBS ha implementado un sistema de despacho en base a algoritmos que permite enviar carros de bomberos según su tiempo de respuesta, dependiendo de la hora del día, tráfico, sentido de calles y diferentes factores que pueden influir directamente en el tiempo de llegada al lugar de la emergencia.

De acuerdo a estadísticas propias del CBS, la mayor cantidad de emergencias se producen en el sector céntrico de la ciudad. Esto justificaría la gran cantidad de compañías en este sector. En el sector céntrico de Santiago existen trece compañías, de las cuales nueve son de la especialidad de agua y cuatro de la especialidad de escalas. Le sigue el sector oriente, con actualmente seis compañías, de las cuales cinco son de especialidad de agua y una de escala.

Debido a esta información, y considerando la extensión geográfica de la zona oriente, el presente estudio propone analizar la situación correspondiente a un llamado estructural en

el sector oriente. Esta situación es de las más complejas, ya que generan disminución en la cobertura de algunos sectores debido a que hay compañías ocupadas acudiendo a la llamada. Es importante señalar que para un Llamado de Comandancia Estructural, por procedimientos establecidos por el CBS, siempre deben concurrir dos Carros Bomba y un Carro Escala.

Este procedimiento se conoce como “Clave 0-11”, que corresponde a una regla implementada por el CBS. Esta regla consiste en enviar a otras compañías a cubrir un sector que ha quedado descubierto debido a una emergencia de gran magnitud, donde gran parte de los recursos están ocupados.

De esta forma, este estudio busca analizar las posibles localizaciones y sus niveles de cobertura, y se propone una metodología que maximice la población cubierta en el caso que las compañías del sector estén acudiendo a un llamado. El mejorar la cobertura, implica que, en caso de una nueva emergencia, los tiempos de respuesta de los carros de bomba debieran disminuir.

Se busca que la metodología propuesta determine ubicaciones para los carros bomba de la zona oriente cuando se produce una “Clave 0-11”. Así, la solución esperada tiene como objetivo determinar nuevas ubicaciones de carros de bomberos que no son del sector donde se está desarrollando la emergencia, con el fin de que éstos puedan concurrir a la emergencia en curso en caso de que sea necesario o en su defecto a una emergencia del sector que ha quedado descubierto.

Entiéndase por cobertura a la población cubierta bajo el criterio de radio de cobertura de puntos factibles o cuarteles móviles.

II. OBJETIVOS

II.1. Objetivo General

El objetivo general es proponer una metodología para el CBS de forma de maximizar la población cubierta, considerando que las compañías de bomberos han tenido que trasladarse a atender algún Llamado de Comandancia Estructural.

II.2. Objetivos específicos

- Realizar un análisis de los siniestros atendidos por el CBS durante el período 2015
- Generar una metodología para evaluar la cobertura.
- Aplicar la metodología en el caso del CBS.

III. MARCO TEÓRICO

III.1. Cuerpo de Bomberos de Santiago

El Cuerpo de Bomberos de Santiago, fundado un 20 de diciembre de 1863, nació tras el fatídico incendio de la Iglesia de la Compañía, donde murieron más de 2.000 personas, considerado uno de los incendios más trágicos de la historia de Chile (www.cbs.cl, Santiago, 2017). Es así como se crean las cuatro primeras compañías (Oriente, Poniente, Sur y Salvadora y Guardia de Propiedad). Al pasar de los años la población de Santiago fue creciendo, expandiéndose y urbanizando territorios más periféricos. Es así como hoy en día cuenta con 22 compañías, las cuales están encargadas de 9 comunas del gran Santiago: Las Condes, Lo Barnechea, La Dehesa, Providencia, Vitacura, Estación Central, Santiago Centro, Recoleta y Renca (ver Ilustración 1).

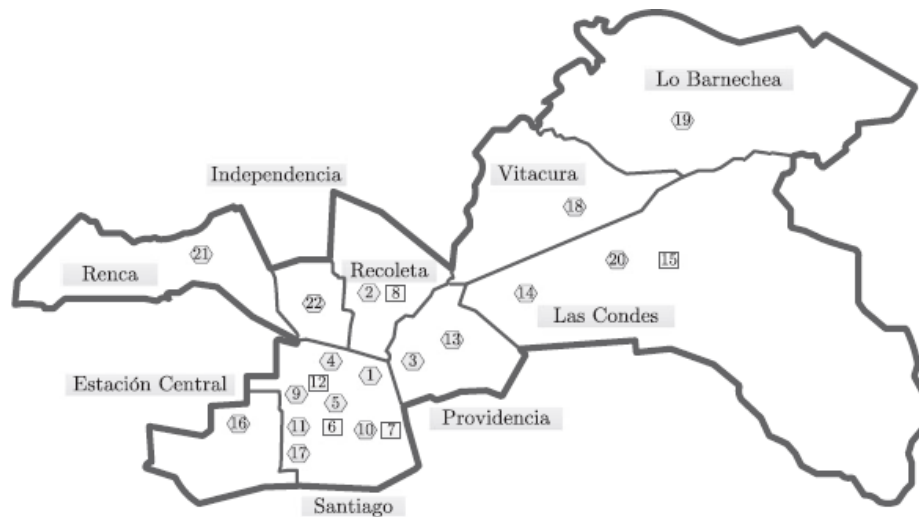


Ilustración 1: Distribución de Cuarteles del Cuerpo de Bomberos de Santiago.
Fuente: Pérez et al., 2015.

Respecto al sector oriente se tiene que el CBS cuenta con seis compañías las cuales se encargan de cubrir comunas como Las Condes, Providencia, Vitacura, Lo Barnechea (Ilustración 2).

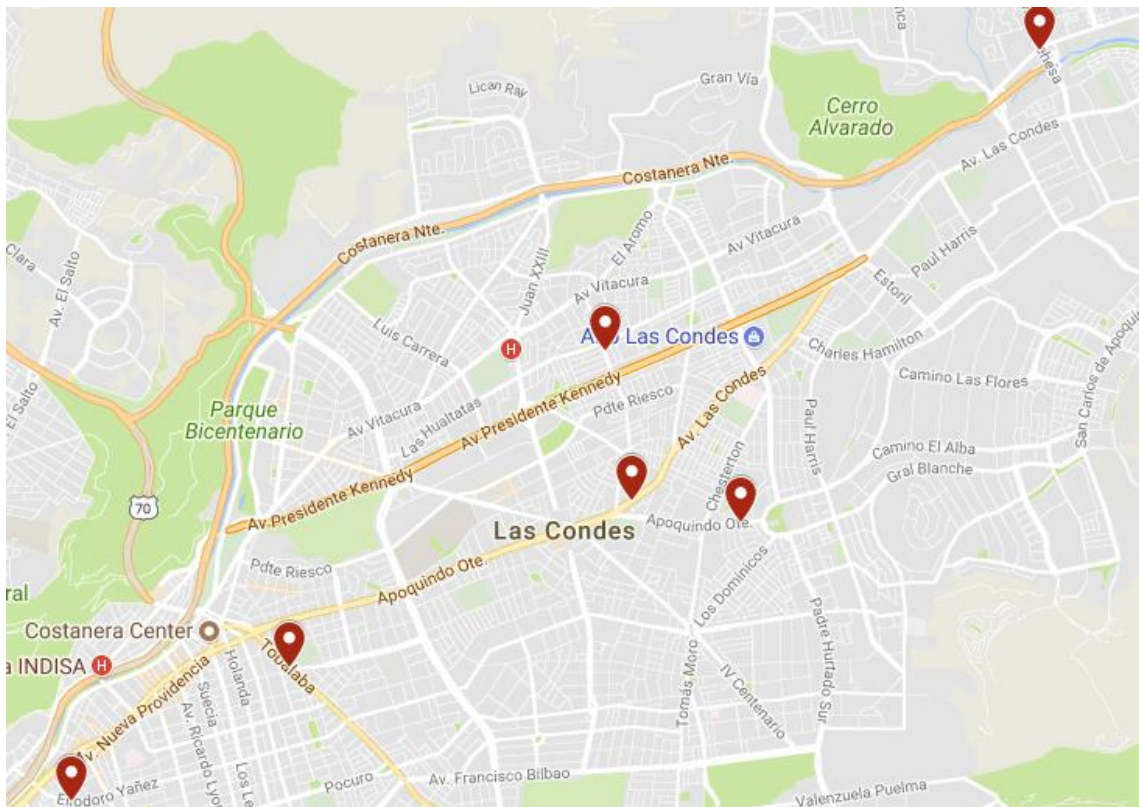


Ilustración 2: Distribución de Cuarteles de Bomberos de Zona Oriente.

Fuente: Elaboración Propia. Santiago. 2017

III.2. Recursos asociados al CBS

Los carros de bomberos utilizados por el CBS corresponden a la siguiente tipología. Imágenes de los carros pueden verse en el (Anexo 1):

- **Carro Bomba:** Carro que porta agua y posee un cuerpo de bomba que permite impulsar el agua por las mangueras.
- **Carro Escala:** Carro que transporta escalas y herramientas para generar accesos a bomberos de las compañías de agua.
- **Carro Rescate:** Carro equipado con el fin de poder asistir a todo tipo de rescates, ya sea en un incendio, rescates vehiculares entre otros.

- **Carro con Brazo Articulado:** Carro que permite acceder a lugares de gran altura o de difícil acceso.
- **Carro Aljibe:** Carro que lleva una mayor cantidad que los Carro Bomba, permite abastecer de agua en lugares donde no la hay.
- **Carro de Materiales Peligrosos:** Carro equipado con materiales y herramientas para trabajar en emergencias de materiales peligrosos.
- **Carro con Escala Telescópica:** Carro que permite acceder a grandes alturas, con el fin de evacuar o sofocar el fuego.
- **Carro Rescate en Cerros:** Moto equipada para rescate en cerros, permite el acceso a personal de emergencia en situaciones extremas.

Cabe mencionar que los despachos a llamados estructurales concurren dos carros bomba y un carro escala. Este estudio se concentrará en la relocalización de los Carros Bomba.

III.3. Cuarteles Móviles

Los cuarteles móviles son los cuarteles temporales en donde las compañías designadas deben acudir durante un periodo de tiempo, el cual es determinado por el oficial o voluntario que se encuentra a cargo de la emergencia, en donde debe tomar la decisión si es necesario mayor cantidad de material al lugar, de acuerdo con la envergadura de ésta. La designación de una compañía a este Cuartel se realiza de acuerdo con la georreferenciación de las bombas, la cual es enviada mediante un sistema de GPS instalado en cada carro de bomberos a la Central de Alarmas o en su defecto a las cualidades de las bombas que se necesiten en el lugar. Un ejemplo de esto es el problema para acudir a una emergencia en la localidad de Farellones, en donde sólo las bombas con características todo terreno o 4x4, pueden acceder a esos lugares, debido al difícil acceso al lugar de la emergencia, no pudiendo acudir todas las compañías del CBS.

Los puntos críticos de cada comuna están determinados por una maximización de la demanda, cercanía con la emergencia en curso y sector descubierto, además de considerar

el fácil acceso de las bombas, posicionándolas en avenidas o en su defecto calles principales de cada comuna.

En la actualidad, gran parte de los cuerpos de bomberos de Estados Unidos trabajan en base a un procedimiento estándar llamado “Staging”, proceso que les permite optimizar los tiempos de respuesta a emergencias de gran envergadura, mediante dos niveles de Staging. Entiéndase por Staging lugar o cuartel móvil en donde deben posicionarse los carros de bomberos, en caso de que sea necesario más recursos al lugar de la emergencia. La localización del Staging depende del nivel de Staging que solicite el oficial a cargo de la emergencia (Clay County Fire Rescue, Florida. 1992).

III.4. Aplicación de Modelos de Localización en cuerpos de bomberos

Diversas investigaciones se han realizado, en donde se ha propuesto una reubicación de los carros de bomberos según su especialidad, además de una flexibilización de la reubicación de cuarteles para maximizar la demanda y que el tiempo de respuesta sea menor al actual (J. Pérez, S. Maldonado & V. Marianov 2016). Así también una formulación de modelo matemático, con el objetivo de mejorar el número de emergencias entendidas dentro de una respuesta estándar, limitando el número de cambios de asignación de carros de bomberos mediante restricciones, bajo dos parámetros demanda actual y acontecimientos previstos (J. Peréz, S. Maldonado & V. Marianov 2015).

Los estudios anteriormente mencionados han concluido posibles soluciones para el CBS, pero sin tener en cuenta los diferentes factores socioculturales, como el total voluntariado de sus miembros y recursos monetarios. Es por esto en base a los estudios y procedimientos que se realizan en la actualidad en los Estados Unidos (Staging) se busca mediante un modelo matemático, poder ofrecer una solución factible para el CBS.

III.4.1. Problema de cobertura máxima

El problema de cobertura máxima busca maximizar la demanda atendida, de acuerdo con el estándar de servicio, dado por la distancia de cobertura. Es posible incorporar una restricción presupuestaria, que consiste en suponer que éste alcanza solo para tener p instalaciones (Lüer-Villagra, 2016).

“Es uno de los modelos de cobertura, inspirado en la operación de los cuerpos de bomberos de los Estados Unidos. Es el acrónimo de Facility-Location, Equipment-Emplacement Technique.

Al momento de acudir a una emergencia, bomberos se presentan dos tipos de vehículos, los Carros Bomba (o Fire-engine), y los Carros Escala (Fire-truck).

En este contexto, un nodo de demanda se considera cubierto si se tiene al menos un carro bomba y un carro escala en sus cercanías.

El problema FLEET consiste en determinar la ubicación de p^z estaciones de bombero, donde existirán en total p^E carros bomba y p^T carros escala, buscando maximizar la demanda cubierta. Es decir, que se encuentre a menos de S^E unidades de tiempo de un carro bomba, y a menos de S^T unidades de tiempo de un carro escala (Lüer-Villagra, 2016).

IV. METODOLOGÍA

Dado el problema que se está presentado, se propone la utilización del Problema de cobertura máxima como metodología para que el CBS localice temporalmente recursos como apoyo a zonas desprotegidas.

En este modelo presentará una posible solución de maximización de la demanda, mediante una relocalización temporal de carros de bombero en Cuarteles Móviles o Staging, durante un determinado tiempo, con el objetivo de abarcar la mayor cantidad de demanda posible, en el tiempo en que se esté desarrollando un Llamado de Comandancia Estructural en el sector oriente de Santiago.

La formulación matemática del problema es:

Datos:

M : Conjunto $\{1, \dots, m\}$ nodos de demanda (población).

N : Conjunto $\{1, \dots, n\}$ sitios potenciales para instalar un centro o cuartel móvil.

r_{ij} : Toma el valor 1 si el cliente i puede ser cubierto por el Carro de Bomba localizado en j , y 0 en caso contrario.

P : Cantidad de cuarteles móviles a localizar.

a_i : Volumen de demanda asociada al nodo i .

Se considera que una zona (demanda) es cubierta por un Carro Bomba, si está a una distancia menor a un valor máximo predeterminado.

Variables de decisión:

$$X_j = \begin{cases} 1 & \text{si en el sitio } j \text{ se localiza un carro bomba} \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

$$Y_i = \begin{cases} 1 & \text{si nodo } i \text{ está cubierto por un carro bomba} \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

Restricciones:

- Cada nodo de demanda debe ser cubierto por un cuartel móvil, dependiendo de la cantidad de Carros Bomba a relocalizar.

$$\sum_{j=1}^n r_{ij} X_j \geq Y_i \quad \forall i = 1, \dots, m$$

- Restricción de cantidad máxima de carros bomba a localizar temporalmente.

$$\sum_{j=1}^n X_j = P$$

- Restricciones de integralidad de las variables de decisión.

$$X_j \in \{0, 1\} \quad \forall j = 1, \dots, n$$

Función Objetivo:

- Maximizar cobertura

$$\text{Max} \sum_{i=1}^m a_i Y_i$$

De esta forma el modelo de Máxima Cobertura es:

$$\text{Max} \sum_{i=1}^m a_i Y_i \quad (1)$$

s.a.

$$\sum_{j=1}^n r_{ij} X_j \geq Y_i \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n X_j = P \quad (3)$$

$$Y_i, X_j \in \{0,1\} \quad \forall i = 1, \dots, m, \forall j = 1, \dots, n \quad (4)$$

Donde, la función objetivo (1) busca maximizar la demanda cubierta. Las restricciones (2) relacionan las variables de localización y las de cobertura. La (3) acota la cantidad de instalaciones a utilizar. Finalmente, la (4) acotan el dominio de las variables de decisión.

IV.1. Puntos Críticos

Chile, según los datos arrojados en el censo realizado el año 2002, presenta un crecimiento demográfico de 1.518.168 habitantes por cada década y una población estimada de 7.724.879 habitantes para la Región Metropolitana para el año 2020, según proyecciones hechas por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE) (Tabla 1).

Las comunas del sector oriente de Santiago han alcanzado un crecimiento considerable en los últimos años, las cifras son las siguientes:

Comuna	2002	2012	2020	Crecimiento al año 2002 - 2020
Providencia	125.279	142.462	155.166	23,85%
Las Condes	259.016	277.859	290.869	12,29%
Vitacura	84.469	87.500	89.085	5,46%

Lo Barnechea	77.495	97.206	115.313	48,80%
Total	546.259	605.027	650.433	19,07%

Tabla 1: Elaboración propia. Crecimiento de la población por comunas. 2017

El CBS en la actualidad cuenta con seis cuarteles, ubicados en las cinco comunas del sector oriente, dos cuarteles en la comuna de Providencia, dos cuarteles en la comuna de Las Condes, un cuartel en la comuna de Vitacura y un cuartel ubicado en la comuna de Lo Barnechea. Los puntos críticos de tiempo de respuesta a emergencias se presentan principalmente en la Comuna de Las Condes, Vitacura y Lo Barnechea. Un ejemplo claro de esto cuando ocurre una emergencia estructural en el sector de Farellones, donde concurren dos carros bomba y carro escala. Los cuarteles que deben concurrir son la Decimoctava, Decimoquinta y Decimonovena compañía, en donde esta última es que se encuentra en el sector de Lo Barnechea, a diferencia de las otras, que se encuentran ubicadas en Vitacura y Las Condes respectivamente, en donde el segundo cuartel más cercano al sector de Lo Barnechea se encuentra a 7,4 km de distancia del cuartel más cercano a la emergencia.

Dependiendo de la magnitud de la emergencia se pueden solicitar más recursos, donde el más cercano se encuentra a 8,4 km de distancia, el cual se encuentra ubicado en la comuna de Las Condes.

En la actualidad el CBS realiza las Claves 0-11 con el procedimiento de posicionar un carro bomba en el cuartel que concurrió a la emergencia, si y solo si el tiempo de trabajo en el lugar es prolongado o en su defecto quedan zonas descubiertas.

V. RESULTADOS

V.1. Análisis de datos

El CBS durante el año 2015 tuvo un total de 5.275 prestaciones de servicio como se observa en la Tabla 2:

Actos relacionados con Fuego	
Incendios estructurales con alarma general	54
Llamados de Comandancia estructurales	916
Llamados de Comandancia a vehículos	216
Llamados de Comandancia a pastizales	841
Llamados de Comandancia eléctricos en vía pública	208
Llamados a escombros	53
Llamados a Materiales Peligrosos	91
Llamados por escapes de gas	792
Sub-total	3.171
Otros Actos	
Rescates Vehiculares	927
Rescates de Emergencias	580
Otros Servicios	340
Llamados no determinados	94
Simulacros	25
Sub-total	1.966
Apoyo a otros Cuerpos	138
TOTAL	5.275

Tabla 2: Elaboración propia. Resumen de Emergencias. 2015

Como se puede observar en la tabla anterior, aproximadamente el 6% de los Llamados de Comandancia estructurales son declarados como Incendios estructurales con alarma general. Un incendio estructural es aquel donde existe fuego ya sea en locales comerciales, casa habitación, edificio departamento, entre otros; y donde la magnitud de éste es mayor que los recursos que se encuentran en el lugar, existiendo además peligro de propagación a otros inmuebles.

Es importante señalar, que cada clasificación de emergencia tiene una determinada cantidad y tipo de carros que deben concurrir, es por esto que al momento del despacho pueden quedar sectores descubiertos lo que podría implicar un mayor tiempo de respuesta. Esto se debe a la distribución de flota con que cuenta el CBS y a factores como carros en mantención, conductores con días libres o bien que se encuentren trabajando en otra emergencia.

V.2.Implementación de la metodología y resultados

V.2.1. Demanda comunas:

La estimación de demanda de las comunas se realizó considerando la información disponible por Censo 2002, que corresponde a los distritos asociados a cada comuna. La siguiente tabla presenta la información indicada (Tabla 3: Elaboración propia. Población por distritos de comunas del sector oriente de Santiago. 2017)

Comuna	Distrito	Población total
LAS CONDES	LAS CONDES	14.230
LAS CONDES	SAN CARLOS DE APOQUINDO	14.786
LAS CONDES	CERRO CALÁN	14.736
LAS CONDES	ESTADIO PALESTINO	11.492
LAS CONDES	HOSPITAL FACH	17.637
LAS CONDES	ESCUELA MILITAR	26.056
LAS CONDES	CERRO APOQUINDO	20.505
LAS CONDES	CERRO SAN LUIS	24.253
LAS CONDES	ESTADIO ITALIANO	14.398
LAS CONDES	LOS DOMÍNICOS	6.706
LAS CONDES	ESTADIO ESPAÑOL	23.222
LAS CONDES	HOSPITAL DE CARABINEROS	18.492
LAS CONDES	CHAPIQUIÑA	19.003
LAS CONDES	EL PILLÁN	15.654
LAS CONDES	SEBASTIÁN EL CANO	19.836

LAS CONDES	VATICANO	21.920
Población total Las Condes		282.926
LO BARNECHEA	FARELLONES	548
LO BARNECHEA	EL ARRAYÁN	19.388
LO BARNECHEA	LA DEHESA	53.367
LO BARNECHEA	LO BARNECHEA	23.812
Población total Lo Barnechea		97.115
PROVIDENCIA	PEDRO DE VALDIVIA NORTE	5.832
PROVIDENCIA	HOSPITAL MILITAR	6.266
PROVIDENCIA	LOS LEONES	26.228
PROVIDENCIA	PEDRO DE VALDIVIA	21.825
PROVIDENCIA	POCURO	35.559
PROVIDENCIA	CONDELL	16.873
PROVIDENCIA	DIEGO DE ALMAGRO	8.306
PROVIDENCIA	PARQUE BUSTAMANTE	9.890
Población total Providencia		130.779
VITACURA	LO CURRO	10.214
VITACURA	CLUB DE GOLF	25.279
VITACURA	ESTADIO MANQUEHUE	23.924
VITACURA	VITACURA	9.054
VITACURA	NACIONES UNIDAS	15.698
Población total Lo Vitacura		84.169
POBLACIÓN TOTAL		594.989

Tabla 3: Elaboración propia. Población por distritos de comunas del sector oriente de Santiago. 2017

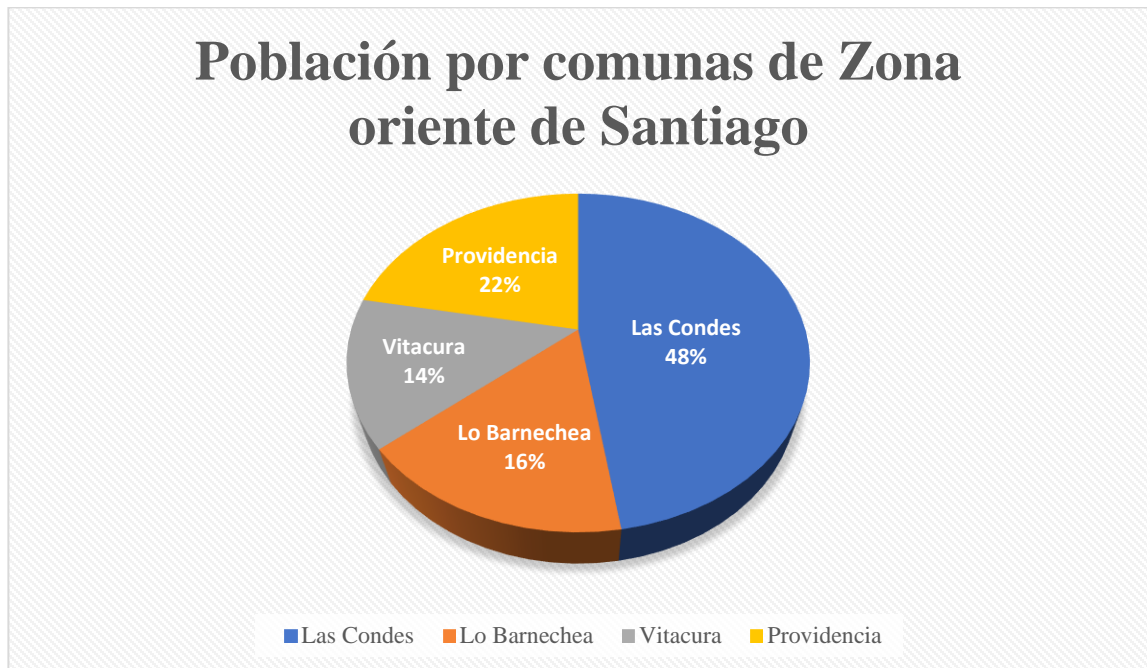


Ilustración 3: Población por comunas de Zona Oriente de Santiago.
Fuente: Elaboración Propia. Santiago. 2017.

Las comunas de la zona oriente de Santiago, están compuestas por un total de 594.989 habitantes. En donde el 48% del total de los habitantes pertenece a la comuna de Las Condes, el 22% a la comuna de Providencia, el 16 % a la comuna de Lo Barnechea y el 14% a la comuna de Vitacura, como se puede apreciar en la Ilustración 3: Población por comunas de Zona Oriente de Santiago..

V.2.2. Puntos factibles cuarteles móviles:

Como primer paso, se definieron puntos factibles para la localización temporal de los cuarteles móviles. Éstos se definieron como intersecciones de calles para cada comuna y se determinaron las coordenadas (x,y). La tabla 4 presenta el listado de puntos.

Id	Ubicación	Comuna	Latitud	Longitud
1	Avenida Las Condes / Estoril	Las Condes	-33,38412	-70.534127
2	Camino Las Flores / Camino La Fuente	Las Condes	-33,394837	-70,522476

3	Cristóbal Colón / Tomás Moro	Las Condes	-33,41833	-70.553225
4	General Blanche / Paul Harris Sur	Las Condes	-33,407725	-70,537466
5	Avenida Apoquindo / Avenida Américo Vespucio	Las Condes	-33,414115	-70,584495
6	Avenida Las Condes / Las Clarisas	Las Condes	-33,405999	-70,559894
7	Camino Real / Camino Los Trapenses	Lo Barnechea	-33,342701	-70.546494
8	Camino a Farellones / Avenida Las Condes	Lo Barnechea	-33,367236	-70.499384
9	Avenida La Dehesa / El Rodeo	Lo Barnechea	-33,352819	-70.518858
10	Camino Juan Pablo II / Paseo Los Bravos	Lo Barnechea	-33,3193	-70,562915
11	Avenida La Dehesa / Paseo Pie Andino	Lo Barnechea	-33,32674	-70,519103
12	Avenida Raúl Labbé / Avenida La Dehesa	Lo Barnechea	-33,364649	-70,514973
13	Juan XXIII / Avenida San Josemaría Escrivá de Balaguer	Vitacura	-33,379472	-70,56908
14	Avenida Vitacura / Presidente Kennedy	Vitacura	-33,408334	-70.600661
15	Avenida Manquehue Norte / Avenida Vitacura	Vitacura	-33,390843	-70.573371
16	Camino Antonio Rabat / Camino Agua del Palo	Vitacura	-33,371432	-70.583684
17	Tabancura / Santa Teresa de Los Andes	Vitacura	-33,37656	-70.537920
18	Gerónimo de Alderete / Alonso de Ojeda	Vitacura	-33,392268	-70,562811
19	Avenida Tobalaba / Lota	Providencia	-33,421285	-70,597551
20	Eliodoro Yáñez / Bravo	Providencia	-33,433761	-70.621292
21	Alfárez Real /Manuel Montt	Providencia	-33,4395	-70.616070
22	Avenida Holanda / Eliodoro Yáñez	Providencia	-33,429498	-70.600639
23	Avenida Santa María / Los Conquistadores	Providencia	-33,422884	-70.620799
24	Ramón Carnicer / Rancagua	Providencia	-33,441988	-70.633687

Tabla 4: Elaboración propia. Puntos factibles de cuarteles móviles. 2017

Cabe mencionar que los cuarteles físicos de las compañías fueron considerados como puntos factibles dentro del estudio y están destacadas en la tabla anterior.

V.2.3. Determinación de cobertura:

La determinación del radio de cobertura de los cuarteles móviles o Staging se realizó mediante dos criterios, velocidad permitida en zona urbana la cual es 60 km/h, donde se tomaron dos velocidades, 40 km/h y 60 km/h. Además del tiempo promedio de respuesta de un carro de bomberos a una emergencia el cual es 7 minutos (0,116667 horas). En base a esto se calcularon dos radios con los que se trabajó, mediante la siguiente formula:

$$\text{Radio: } \frac{\text{Velocidad}(km / h)}{\text{Tiempo}(h)}$$

Obteniendo los siguientes resultados Tabla 5: Elaboración propia. Relación entre velocidad y tiempo de respuesta. 2017.

Velocidad (km/h)	Tiempo respuesta (h)	Radio (km)
40	7	4,6667
60	7	7

Tabla 5: Elaboración propia. Relación entre velocidad y tiempo de respuesta. 2017

Con respecto a la matriz r_{ij} , se realizó una georreferenciación de los cuarteles móviles, mediante su latitud y longitud, los cuales fueron ingresados al programa ArcGIS. Mediante este se obtuvo la matriz binaria que permite visualizar la cobertura de cada cuartel móvil con respecto a los distritos de cada comuna, que se mencionaron anteriormente Tabla 4: Elaboración propia. Puntos factibles de cuarteles móviles. 2017. Las imágenes que se mostrarán a continuación son ejemplos de cobertura de cuarteles, con radios de 4,6 km y 7 km.

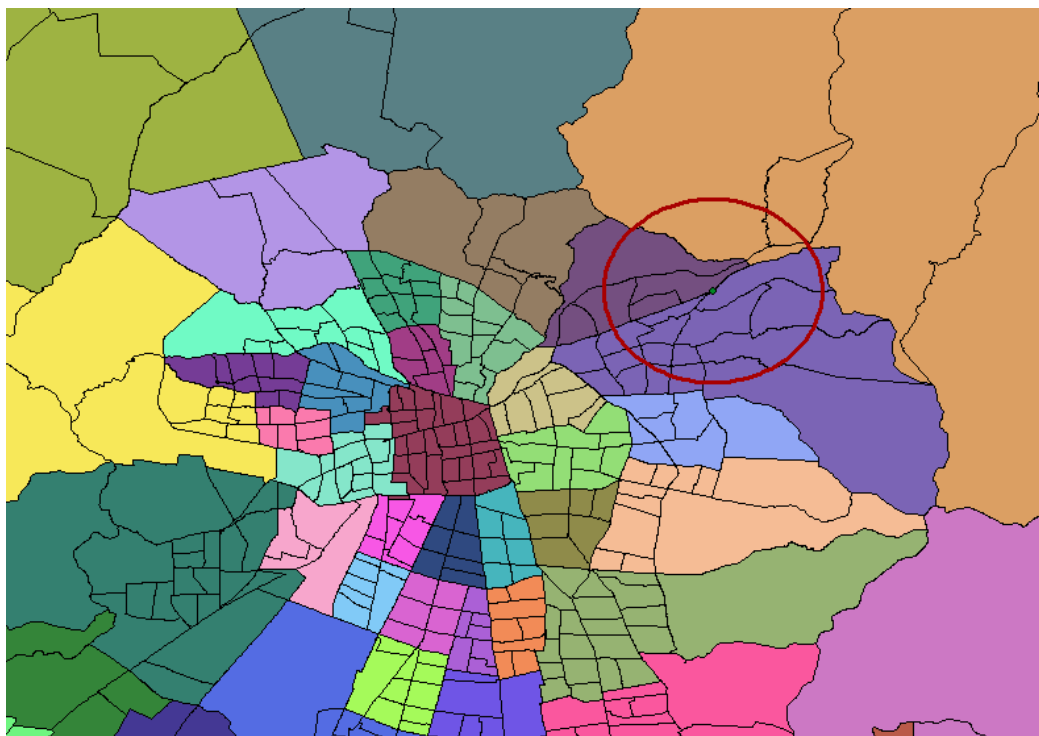


Ilustración 4: Cobertura de distritos de cuartel móvil Avenida Las Condes / Estoril, radio 4,6 km.
Fuente: Elaboración Propia, ArcGIS. Santiago. 2017.

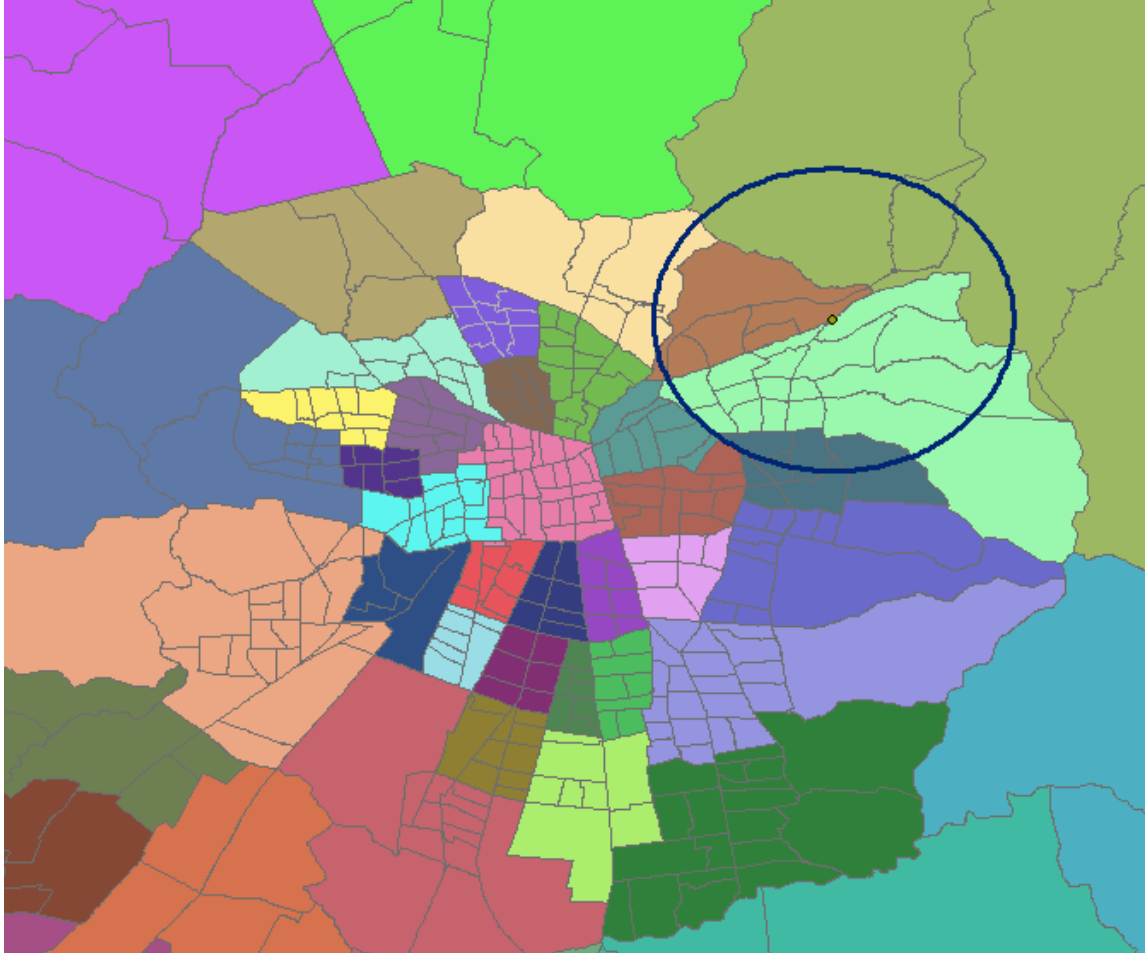


Ilustración 5: Cobertura de distritos de cuartel móvil Avenida Las Condes / Estoril, radio 7 km.
Fuente: Elaboración Propia, ArcGIS. Santiago. 2017.

V.2.4. Escenarios a correr

En el presente estudio se llevaron a cabo dos escenarios, en donde se diferenció en los radios de cobertura de demanda y cantidad de Cuartele Móviles. Este trabajo se realizó a través del programa AMPL, en donde se aplicó la metodología y se obtuvo los siguientes resultados. (Tabla 6 y 7)

Cantidad de Cuarteles Móviles	Cuartel Móvil	Radio de cobertura (km)	Demanda cubierta (Habitantes)	Demanda no cubierta (Habitantes)	Porcentaje de cobertura
1	Avenida Las Condes / Las Clarisas	4,6	502.653	92.336	84,48%
2	Avenida Las Condes / Estoril	4,6	594.441	548	99,91%
	Ramón Carnicer / Rancagua				
3	Avenida Las Condes / Estoril	4,6	594.441	548	99,91%
	Cristóbal Colón / Tomás Moro				
	Ramón Carnicer / Rancagua				
4	Avenida Las Condes / Estoril	4,6	594.441	548	99,91%
	Cristóbal Colón /				

	Tomás Moro				
	Avenida Apoquindo / Avenida Américo Vespucio				
	Avenida Holanda / Eliodoro Yáñez				

Tabla 6: Elaboración propia. Demanda cubierta por cuarteles móviles 4,6 km. 2017

Cantidad de Cuarteles Móviles	Cuartel Móvil	Radio de cobertura (km)	Demanda cubierta (Habitantes)	Demanda no cubierta (Habitantes)	Porcentaje de cobertura
1	Avenida Las Condes / Las Clarisas	7	584.551	10,438	98,25%
2	Camino a Farellones / Avenida Las Condes	7	594.989	0	100,00%
	Ramón Carnicer / Rancagua				
	Avenida Las Condes / Estoril	7	594.989	0	100,00%
	Camino Las Flores / Camino La Fuente				
	Ramón Carnicer / Rancagua				

4	Avenida Las Condes / Estoril	7	594.989	0	100,00%
	Camino Las Flores / Camino La Fuente				
	Cristóbal Colón / Tomás Moro				
	Ramón Carnicer / Rancagua				

Tabla 7: Elaboración propia. Demanda cubierta por cuarteles móviles 7 km. 2017

De acuerdo con lo anteriormente expuesto en la Tabla 6, al momento de aplicar el criterio de cobertura con un radio de 4,6 km, se observa que al localizar un Cuartel Móvil en las intersecciones de Avenida Las Condes / Las Clarisas, correspondiente a la comuna de Las Condes, la demanda es cubierta en un 84,48%, quedando descubiertos 6 nodos de un total de 33. Luego al realizar el método de programación entera con 2, 3 y 4 Cuarteles Móviles, la cobertura de la demanda es de un 99,90%, quedando descubierto el nodo ubicado en las intersecciones de Tabancura / Santa Teresa de los Andes, correspondiente a la comuna de Vitacura.

En el caso de aplicar un radio de 7 kms y localizar un Cuartel Móvil, ubicado en las intersecciones de Avenida Las Condes / Las Clarisas, se alcanza una cobertura del 98,24% de la totalidad de la demanda, quedando descubiertos 2 nodos de un total de 33. Al aplicar el mismo criterio de radio de cobertura y cambiando la cantidad de Cuarteles Móviles a fijar a 2, 3 y 4 la cobertura total es de un 100%, por lo que no quedan nodos de demanda descubiertos.

VI. CONCLUSIONES

El CBS cuenta con seis compañías ubicadas en el sector oriente, en donde cinco tienen Carros Bomba. Al concurrir estas son despachadas dos Carros Bomba y un Carro Escala, quedando la posibilidad de relocalizar cuatro compañías. El procedimiento de “Clave 0-11” actualmente se lleva a cabo ubicando el Carro Bomba de la compañía que va a cubrir la zona descubierta directamente al cuartel de la compañía que se encuentra atendiendo la emergencia. Mediante este modelo se buscó la maximización de la demanda, relocalizando estas, mediante criterios como ubicarlas en calles principales de las cuatro comunas de la zona oriente, con la finalidad de obtener un fácil acceso. Además, estos puntos se encuentren en los puntos críticos de cobertura.

Luego de realizar un análisis de siniestros del año 2015 en donde el 17,36% del total de actos corresponden a Llamados de Comandancia estructurales, además de realizar un modelo de maximización de cobertura que se pueda adaptar a las condiciones del CBS, mediante el uso del programa de georreferenciación (ArcGIS) y el programa para resolución de modelo de programación entera se llegó a la conclusión que para maximizar la demanda, se deben relocalizar Carros Bomba temporalmente en a lo menos un Cuartel Móvil, en donde se puede alcanzar una cobertura de un 84,48% de la demanda, con un radio de 4,6 km. En el caso de que el radio se de 7 km se alcanza una cobertura de un 98,24% de la totalidad de la demanda.

Se recomienda para estudios posteriores, considerar la reasignación de carros de bomberos, considerando especialidad y características de éstos.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Pérez, J., Maldonado, S., & Marianov, V. (2016). A reconfiguration of fire station and fleet locations for the Santiago Fire Department. International Journal of Production Research, 54(11), 3170-3186.

Pérez, J., Maldonado, S., & López-Ospina, H. (2016). A fleet management model for the Santiago Fire Department. Fire Safety Journal, 82, 1-11.

Villagra, A. L. (24 de Agosto de 2016). Modelos de localización de Instalación y Diseño de Redes de Distribución. Capítulo 2. . Santiago.

Clay County Fire Rescue. (1992). Staging . Florida.

VIII. Anexo 1: Recursos asociados al CBS.



Carro Bomba



Carro Escala



Carro Rescate



Carro con Brazo Articulado



Carro Aljibe



Carro Materiales Peligrosos



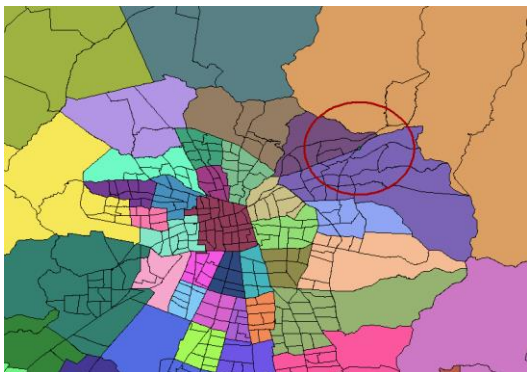
Carro con Escala Mecánica



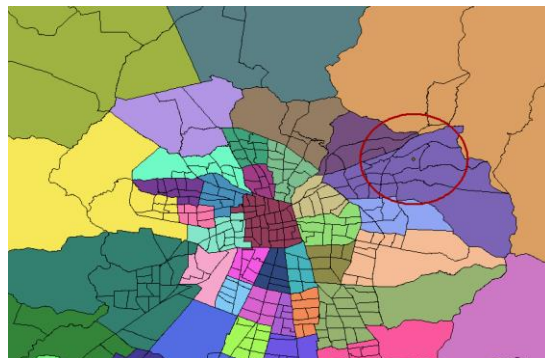
Carro Rescate en Cerros

Fuente: Material Mayor. www.cbs.cl. Santiago. 2017.

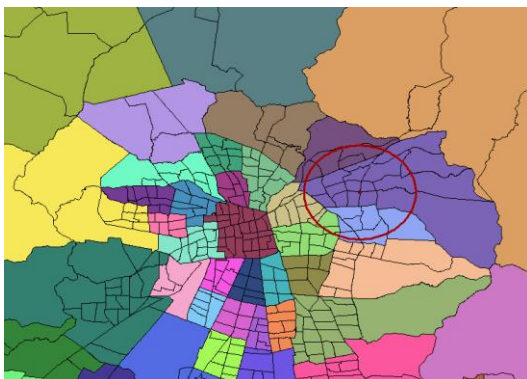
IX. Anexo 2: Cobertura de Cuarteles Móviles 4,6 km.



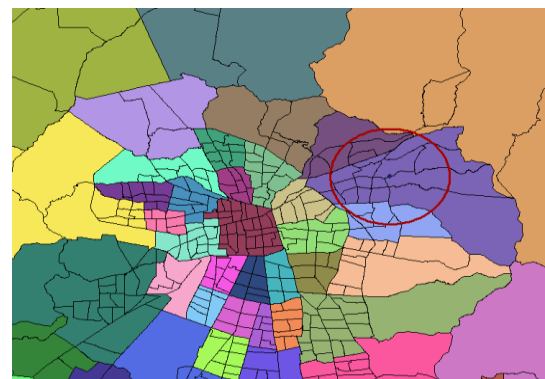
Cuartel ID 1



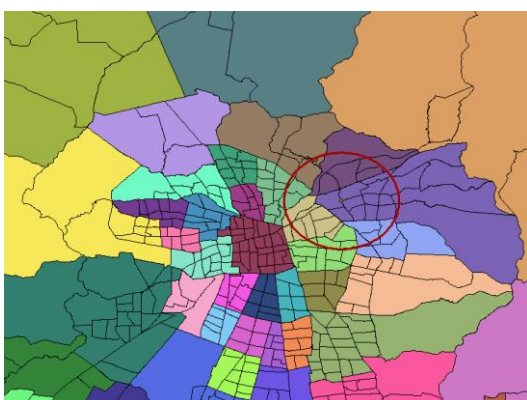
Cuartel ID 2



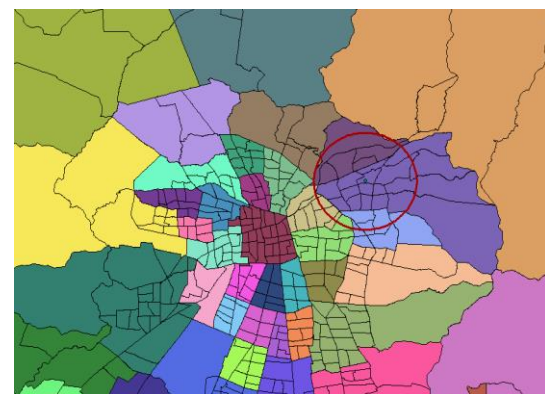
Cuartel ID 3



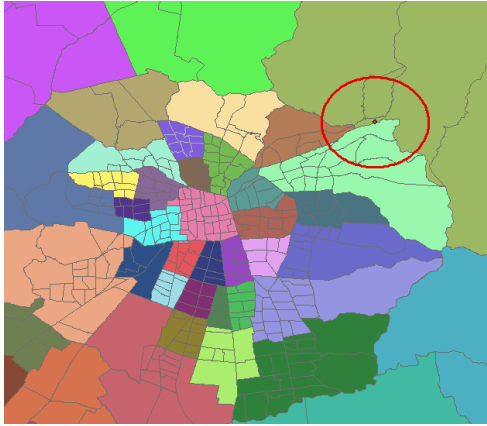
Cuartel ID 4



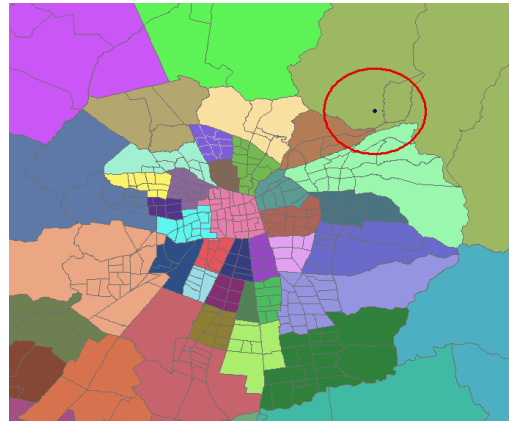
Cuartel ID 5



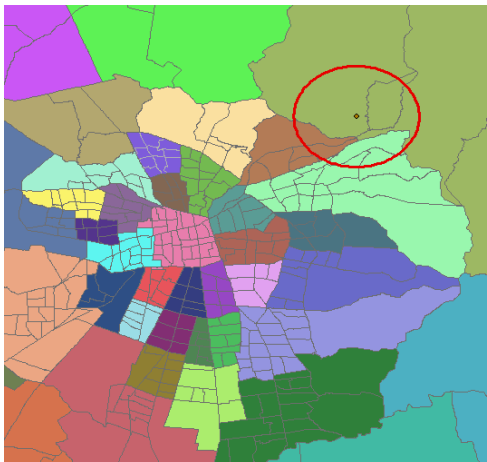
Cuartel ID 6



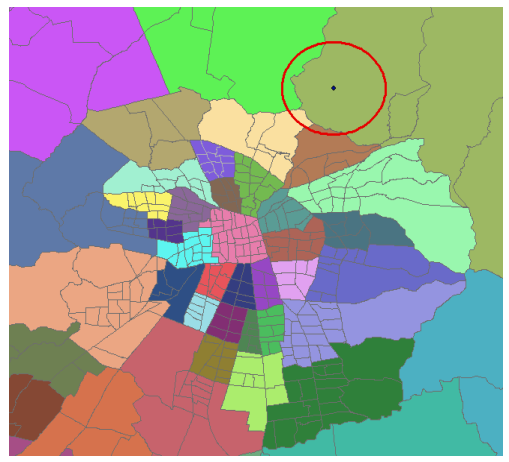
Cuartel ID 7



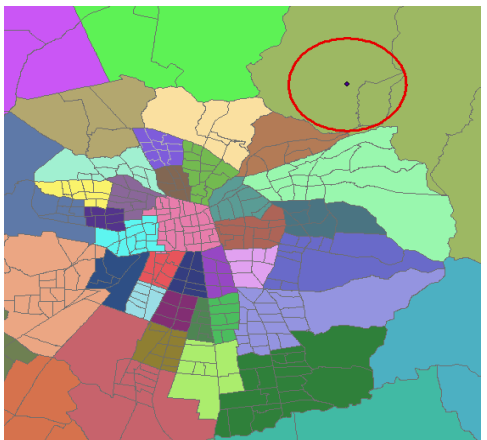
Cuartel ID 8



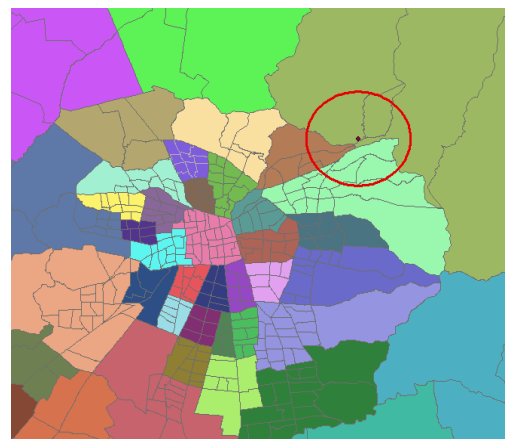
Cuartel ID 9



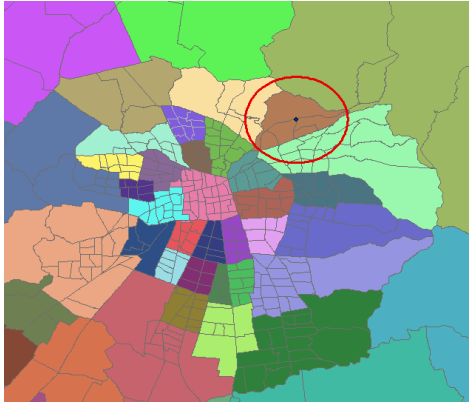
Cuartel ID 10



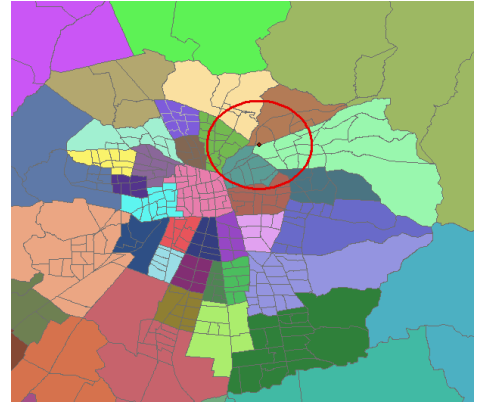
Cuartel ID 11



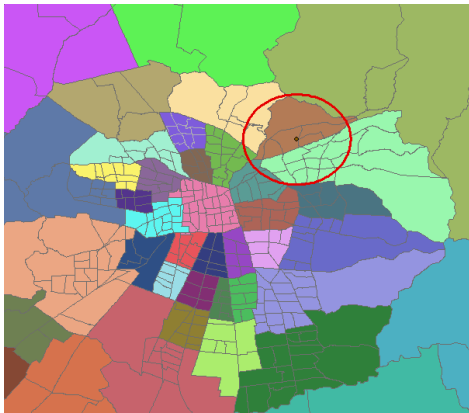
Cuartel ID 12



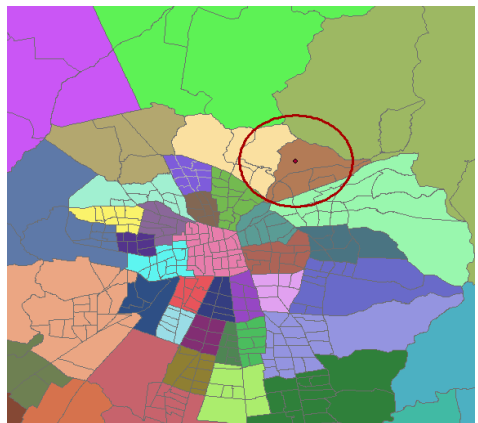
Cuartel ID 13



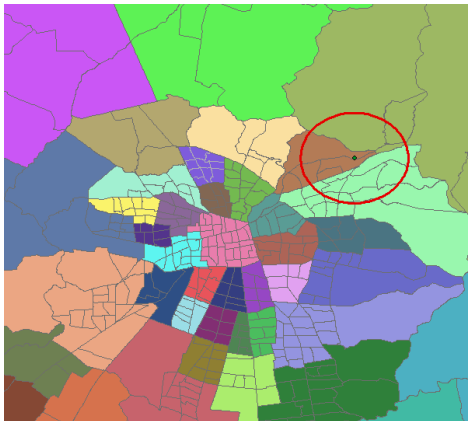
Cuartel ID 14



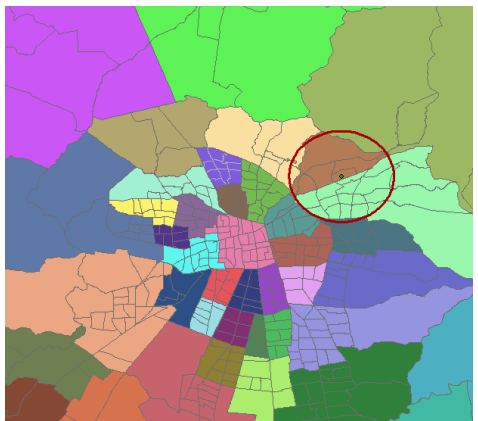
Cuartel ID 15



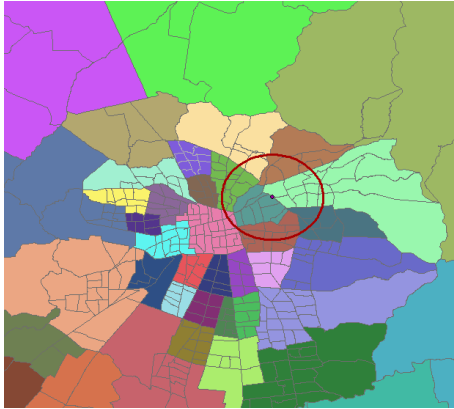
Cuartel ID 16



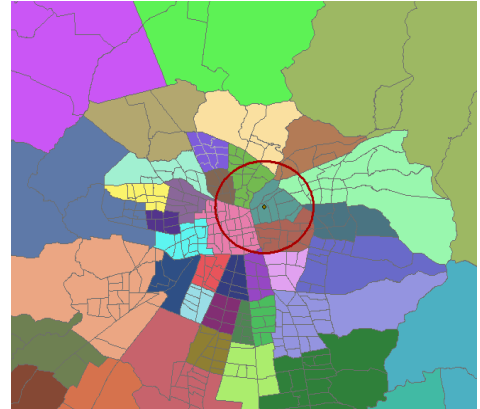
Cuartel ID 17



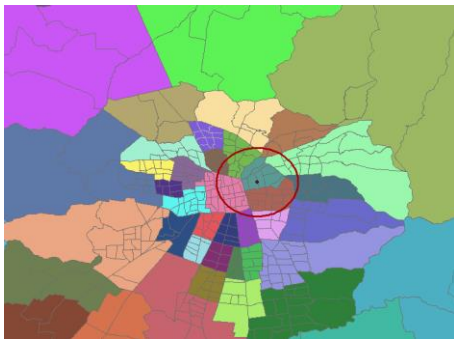
Cuartel ID 18



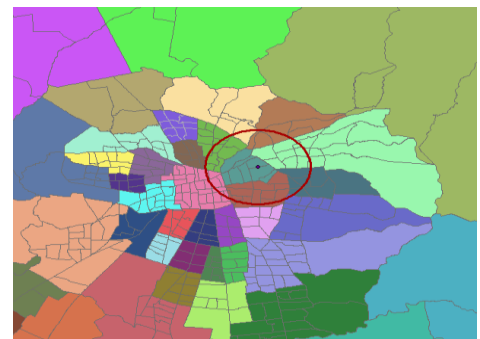
Cuartel ID 19



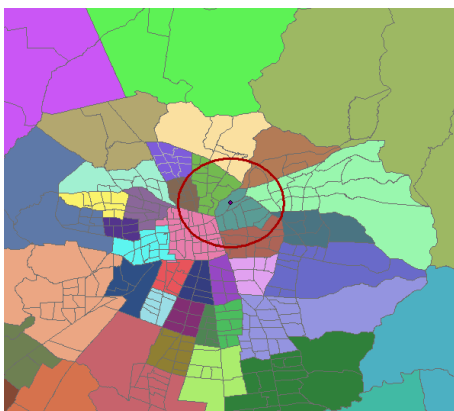
Cuartel ID 20



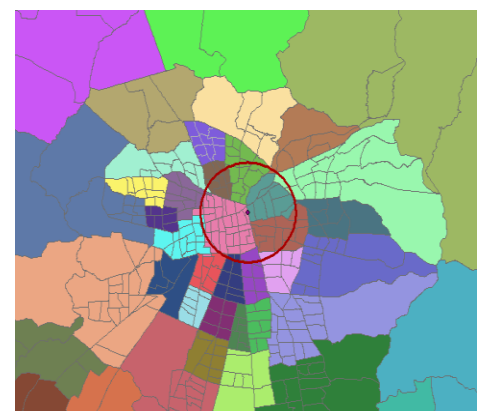
Cuartel ID 21



Cuartel ID 22



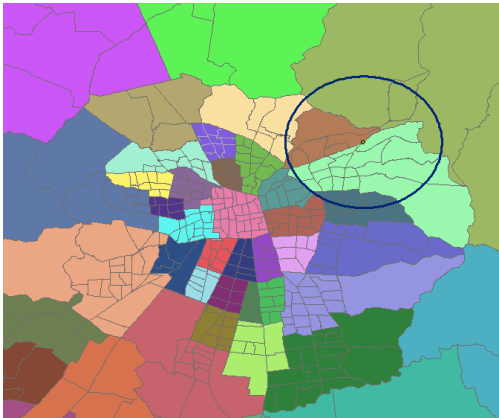
Cuartel ID 23



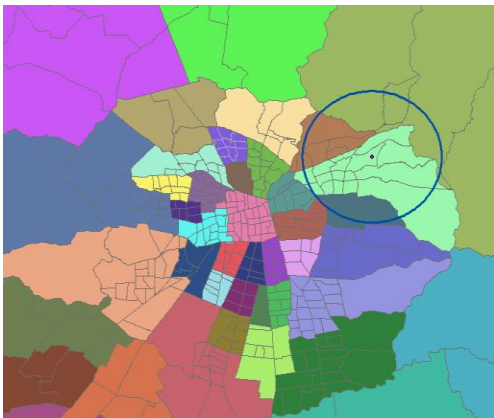
Cuartel ID 24

Fuente: Elaboración propia. ArcGIS. Santiago. 2017.

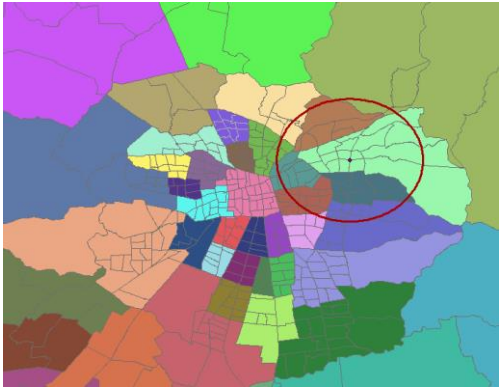
X. Anexo 3: Cobertura de Cuarteles Móviles 7 km.



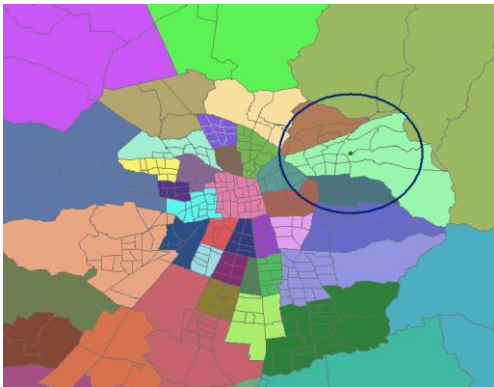
Cuartel ID 1



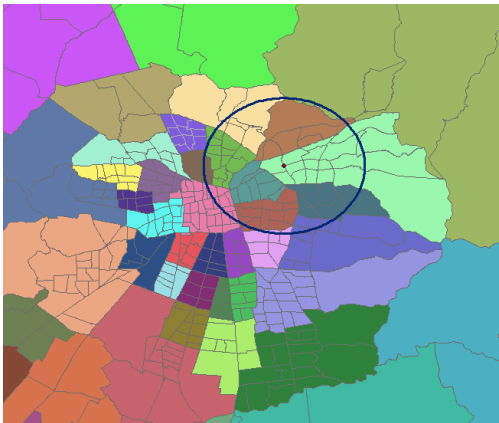
Cuartel ID 2



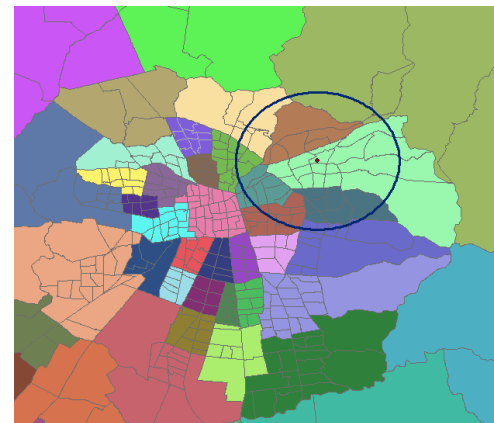
Cuartel ID 3



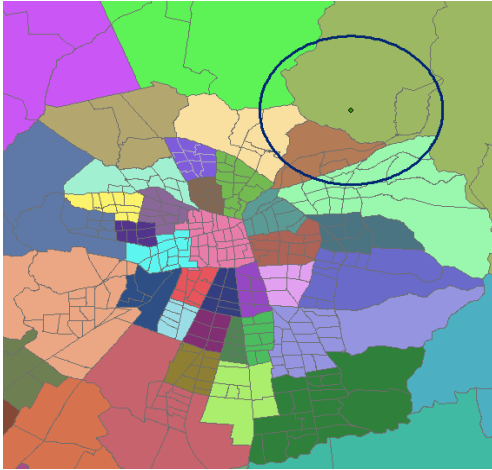
Cuartel ID 4



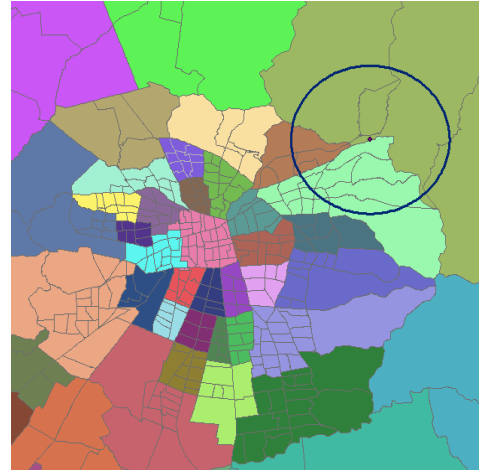
Cuartel ID 5



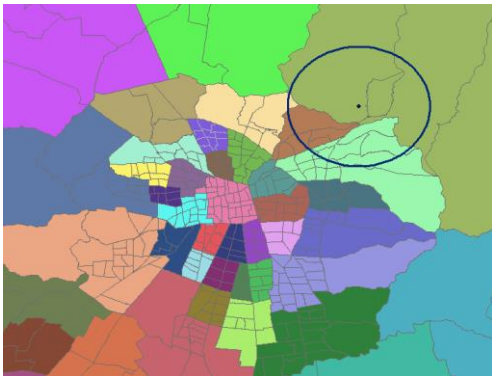
Cuartel ID 6



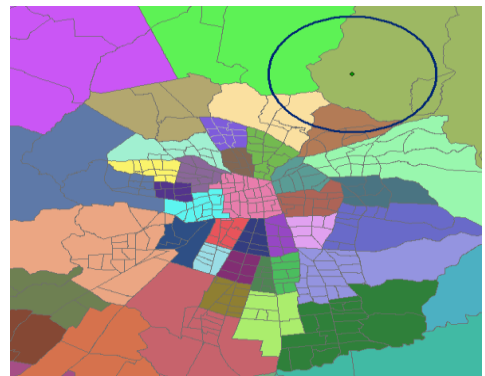
Cuartel ID 7



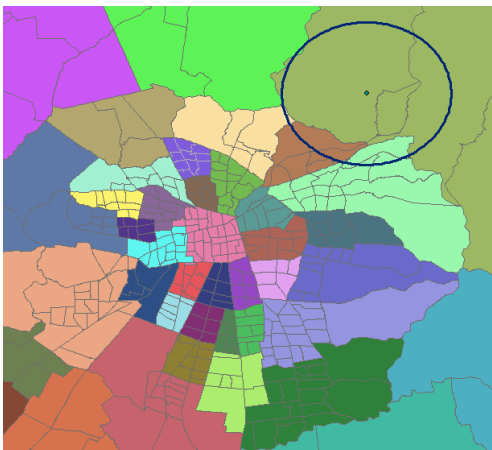
Cuartel ID 8



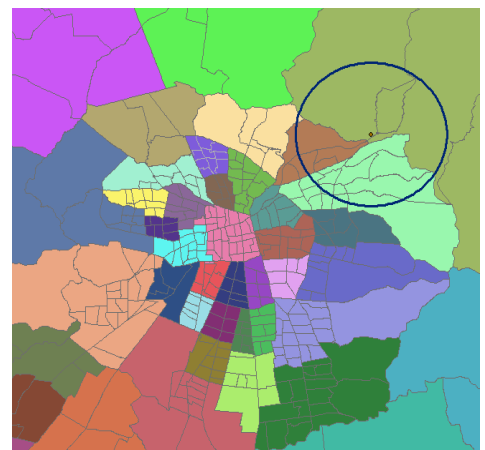
Cuartel ID 9



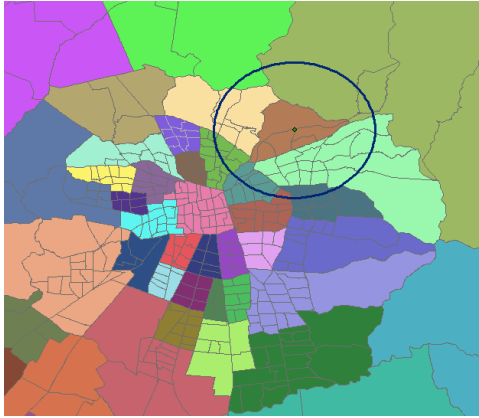
Cuartel ID 10



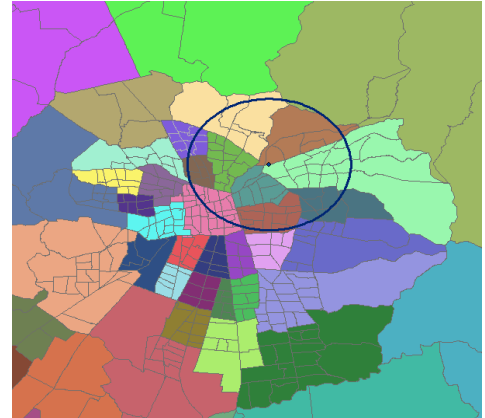
Cuartel ID 11



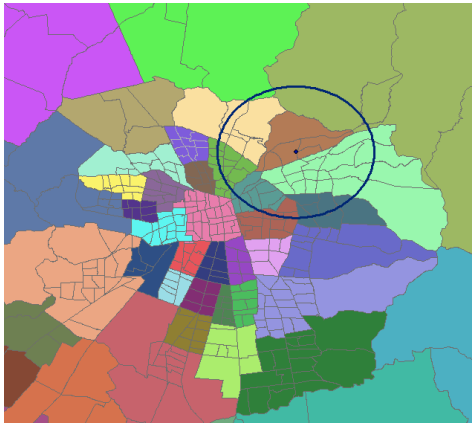
Cuartel ID 12



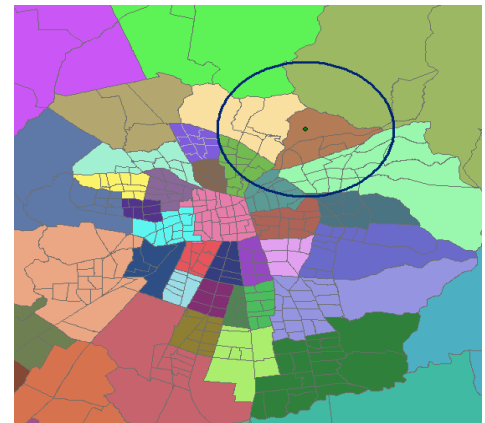
Cuartel ID 13



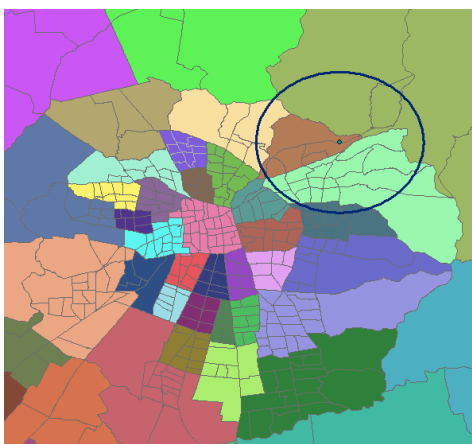
Cuartel ID 14



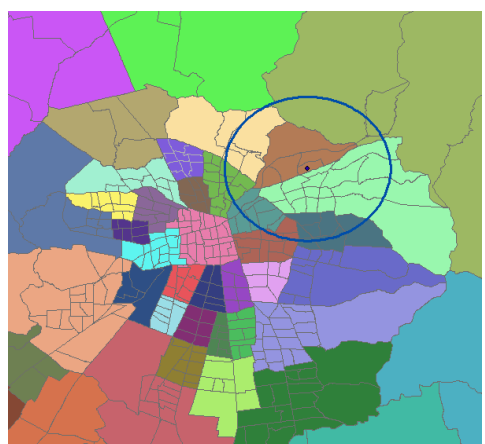
Cuartel ID 15



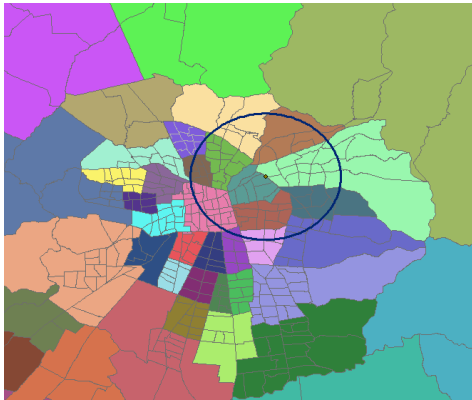
Cuartel ID 16



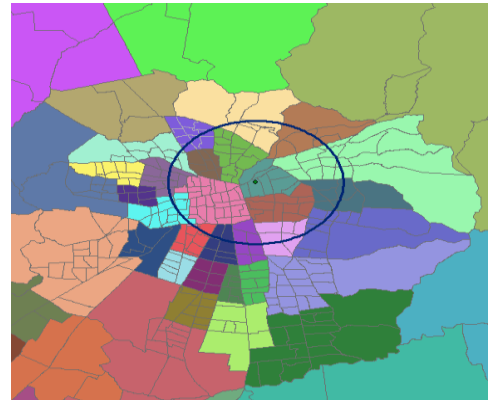
Cuartel ID 17



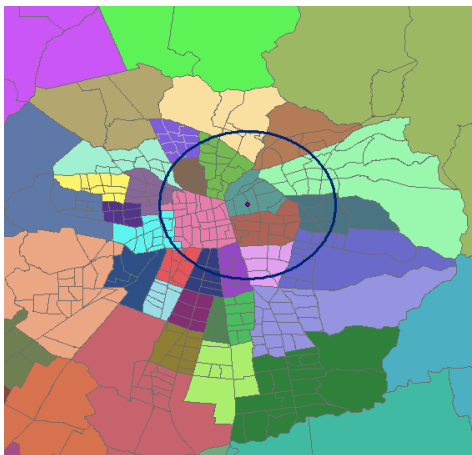
Cuartel ID 18



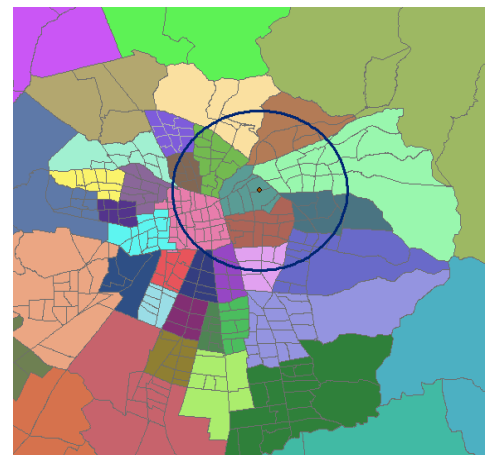
Cuartel ID 19



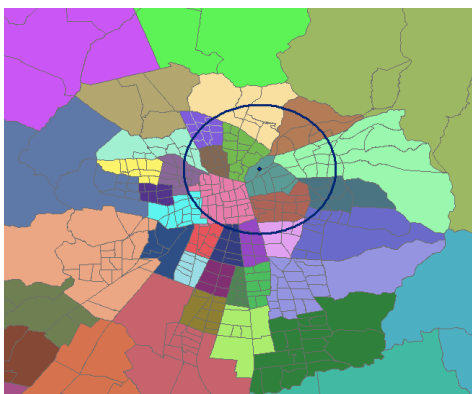
Cuartel ID 20



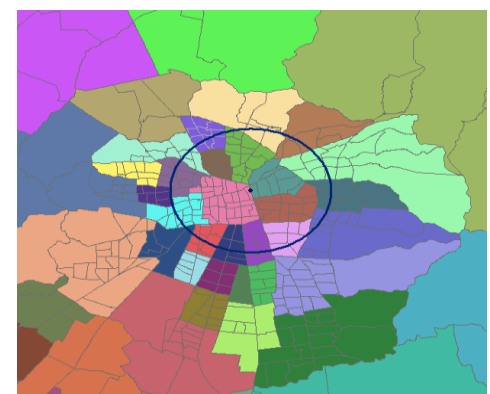
Cuartel ID 21



Cuartel ID 22



Cuartel ID 23



Cuartel ID 24

Fuente: Elaboración propia. ArcGIS. Santiago. 2017.